

氏 名	王 漢 東
生 年 月 日	
本 籍	中国
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博甲第250号
学位授与の日付	平成10年3月25日
学位授与の要件	課程博士（学位規則第4条第1項）
学位授与の題目	多層大地の構造推定に関する研究
論文審査委員	（主査）高嶋 武 （副査）作田 忠裕，山田 外史，岩原 正吉，花岡 良一

## 学位論文要旨

### Summary:

For estimation of earth parameters of multi-layer ground configuration, in many cases, Wenner's four electrodes arrangement is employed. In this paper, an apparent resistivity curve ( $\rho - a$  curve) of multi-layer ground configuration from results measured with this arrangement has been analyzed by using standard curves and auxiliary curves.

First, the property of five auxiliary curves are discussed. The best auxiliary curve according to the type of  $\rho - a$  curve is selected.

Second, new standard curves are proposed instead of the Sundberg's standard curves.

Third, the analyzed ranges of  $\rho - a$  curves and the correlated ranges of new standard curves are discussed for each  $\rho - a$  curve types of multi-layer ground configuration.

Last, for estimating precision of analyzed earth parameters, the  $\rho - a$  curve is drawn from analyzed parameters and is compared with the  $\rho - a$  curve from measured results. When there is considerable difference between two these curves, corrections are made for earth parameter by method of trial and error. Errors of corrected earth parameters are less than about 15%.

### 1. まえがき

接地設計のためには、多層大地の大地パラメータ（大地各層の抵抗率  $\rho_i$  と厚さ  $h_i$ ）を明確に知る必要がある。従来から多用されている大地構造の推定方法は、ウェンナーの四電極法で得られた  $\rho - a$  曲線を、サンドベッジの二層標準曲線とヒュメルの補助曲線を用いて、解析する方法である。この方法では、解析結果が地層の境界面よりかなり深く解析されることや、測定深度が少し深くなると比較的薄い地層を検出することはできないなどの欠点がある。本研究の目的はウェンナーの四電極法で得られた  $\rho - a$  曲線から、各大地パラメータを正確に算出するために、従来の解析方法に詳細な検討を加え、新しい提案を行うものである。次の検討を行っている。①補助曲線について、5つの方法を検討して、最適な補助曲線の選択方法を提案した。②二層標準曲線に替わる新標準曲線を提案した。③  $\rho - a$  曲線を解析するときの  $\rho - a$  曲線の解析範囲と標準曲線の照合範囲を地層別に明確にした。④実測及び解析結果の  $\rho - a$  曲線を照合することにより、解析結果を修正する手順を提案した。

### 2. 基本原理

第2章では、第3章～第5章で応用する既知の基本的事項を整理して記述した。

(i) 影像法 多層大地の電界は影像法によって求めることができる。電流源を光源に、大地各層の境界

面を反射と透過の両性質を持つ厚さ零の半透明な面と考え、影像を設定する。反射係数と透過係数は大地の抵抗率より求める。現在の電子計算機能力では、四層までの大地の電界を容易に求めることができる。

- (ii)  $\rho - a$  曲線 図1にウェンナーの四電極配置と四層大地構造を示した。図の電極配置において電極間隔  $a$  の時の電流電極 ( $C_1, C_2$ ) の電流と電位電極 ( $P_1, P_2$ ) 間の電圧より、見掛け大地抵抗率  $\rho$  を求める。この  $\rho$  と電極間隔距離  $a$  の関係より、四層大地に対しては、図2のような8パターン of  $\rho - a$  曲線が得られる。三層、二層大地の  $\rho - a$  曲線も同様に求めることができる。

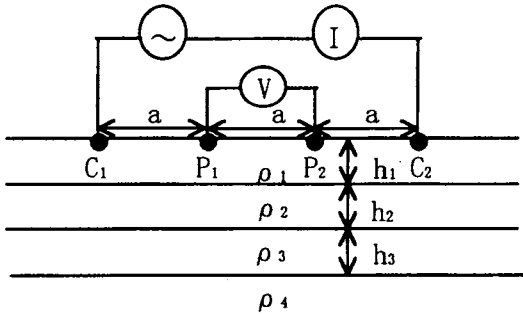


図1 四層大地構造とウェンナーの電極配置

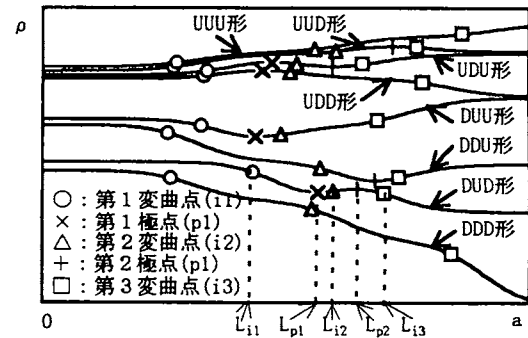


図2 四層大地の  $\rho - a$  曲線

### 3. 解析範囲の決定と補助曲線の選択

第3章では、三層大地をモデルとし、ウェンナー法によって得られた  $\rho - a$  曲線の解析に関する下記の問題を検討している。まず、二層標準曲線と照合するときの、 $\rho - a$  曲線の解析範囲について検討している。 $\rho - a$  曲線の特徴である変曲点と極点を利用することを考え、800種類のモデルを対象として検討し、最適な解析範囲と照合範囲を明らかにしている。次に補助曲線を問題にしている。従来からのヒュメルの補助曲線は、地層の等価置換法として並列置換方法を採用したものである。すなわち、第1層と第2層が相接して存在しているとき、両層内の電流が境界面と平行に流れているとし、この二層を一層に等価置換する方法である。両層内の電流が境界面と垂直に流れているとするのが直列置換方法である。並列置換と直列置換の幾何平均を取るのが幾何平均置換方法であり、両者の算術平均を取るのが算術平均置換方法である。小野氏はこれらとは別の置換方法を提案している。以上の5つの置換方法の関係式を導出し、三層大地の  $\rho - a$  曲線の姿態 (UU、UD、DD、DU の四種) 毎の最適補助曲線を明らかにしている。

### 4. 新標準曲線の提案

第4章では、新しい標準曲線を提案している。第3章で説明した解析方法を用いて解析すると、場合によっては、かなりの程度の誤差が避けられない。サンドベッジの二層標準曲線は、第2層の厚さが比較的薄い大地の  $\rho - a$  曲線の解析に用いる場合には、第2層の大地抵抗率の算出値に大きな誤差を伴う。従って、 $\rho - a$  曲線をより正確に解析するためには、新しい標準曲線を考案する必要があり、本章では、新標準曲線について述べている。サンドベッジの二層標準曲線では、媒介変数として第2層と第1層の大地抵抗率比のみを考慮している。これに対して、新標準曲線では、媒介変数として、この大地抵抗率比に加えて、第2層と第1層の厚さの比、及び第3層と第2層の大地抵抗率比も考慮に入れている。提案した新標準曲線及び前章で選定した補助曲線を併せて使用して  $\rho - a$  曲線を解析した結果から、二層標準曲線を用いた場合と比べて、新標準曲線の解析結果の優位性が明らかになった。

### 5. 四層大地構造の $\rho - a$ 曲線の解析

第3章と第4章の結果を適用して四層大地構造の  $\rho - a$  曲線を解析するとき、三層の解析結果より悪くなることが判った。第5章では、四層大地を対象とし、ウェンナー法によって得られた  $\rho - a$  曲線の解析に関する下記の問題を検討する。まず、 $\rho - a$  曲線を解析するときの、 $\rho - a$  曲線の解析範囲と標準曲線

の照合範囲を明らかにしている。次に、 $\rho - a$  曲線の解析結果から得られた、各大地パラメータの誤差範囲を明らかにする。最後に、解析結果の誤差が大きい場合については、実測の  $\rho - a$  曲線と解析結果の  $\rho - a$  曲線を比較しながら、解析結果の補正を行う方法を提案している。各層大地パラメータの最終補正後の最大誤差は 15% 以下となることが判った。

## 6. まとめ

本研究はウェンナーの四電極法を用いて得られる、三層及び四層大地に対する  $\rho - a$  曲線を、正確に解析するための方法について検討したものである。本研究の成果は次のようにまとめることができる。

- (i) 補助曲線を検討した。従来からの 2 つの補助曲線に新たな 3 つの補助曲線を加えて、 $\rho - a$  曲線の姿態毎に最適な補助曲線を明らかにした。
- (ii) 従来の二層標準曲線に替わる新しい標準曲線を提案した。新標準曲線は従来 1 種類であった媒介変数を 3 種類に増加させたものであり、第 2 層の厚さが薄い場合に特に有効である。
- (iii) 上記の (i) 項と (ii) 項を適用し、四層大地の  $\rho - a$  曲線の解析について検討し、解析範囲と照合範囲を明確にした。さらに、解析結果の誤差が大きい場合には、解析結果の  $\rho - a$  曲線を実測の  $\rho - a$  曲線と比較しながら、補正する方法を提案した。

以上のように、本研究の成果をモデル  $\rho - a$  曲線に適用したところ、従来の方法によるよりも非常に優れた結果を得ることができた。

## 学位論文審査結果の要旨

平成10年1月27日に第1回学位論文審査委員会を開催し、同2月12日の口頭発表後、審査委員による協議を行い、以下の通り判定した。

本論文は接地電極設計時や接地抵抗測定時に不可欠な、多層大地の各地層の厚さと抵抗率の測定に関して、推定方法の一つである実測  $\rho - a$  曲線の解析に伴う誤差を最小とするための、幾つかの提案を行ったものである。最初に、解析に用いられる補助曲線の作成方法及び適用方法について検討しており、従来の2方法に新たに3方法を加えた5方法を、それぞれ約800種類のモデルに適用し、 $\rho - a$  曲線の姿態別に最適な補助曲線を明らかにしている。次に、従来の標準曲線の欠点を明らかにし、改良した新標準曲線を提案している。新標準曲線は解析精度に影響する媒介変数の数を1から3に増加させたものであり、多数のモデルに新旧の標準曲線を適用し、誤差評価を行って新標準曲線が優れていることを明らかにしている。最後に、新標準曲線を四層大地の  $\rho - a$  曲線の解析に適用する場合の、 $\rho - a$  曲線の解析範囲と新標準曲線の照合範囲がどのようになるかを明らかにしている。また、解析結果から  $\rho - a$  曲線を作成し、実測曲線との比較において、両曲線に差異が認められる場合の、補正方法を詳述している。この場合、目視によって差異が認められないときの誤差は15%以下であることを明らかにしている。

以上のように、本論文は大地の電氣的構造推定に寄与するところ大であり、博士論文に値するものと判定する。